

Modélisation des vibrations axiales d'un embrayage automobile

Y. AKTIR^{a,b}, J-F. BRUNEL^a, P. DUFRENOY^a, H. MAHE^b

*a. Laboratoire Mécanique de Lille (LML), Av. Paul Langevin, cité scientifique,
59655 VILLENEUVE D'ASCQ*

b. Valeo Transmissions, Centre d'Etudes des Produits Nouveaux (CEPN), rue de poulainville, 80009 Amiens

Résumé :

L'embrayage est un organe principal dans la chaîne cinématique d'un véhicule. En effet, ce dispositif permet d'accoupler à volonté deux arbres coaxiaux en rotation, l'arbre en sortie du moteur et l'arbre d'entrée de la boîte de vitesses. L'embrayage a également pour fonction de filtrer les vibrations axiales et torsionnelles provenant du moteur, afin de limiter leur propagation dans la chaîne de transmission. Malgré l'optimisation des systèmes de filtrations, certains bruits et vibrations moins perceptibles qu'auparavant, sont ressentis dans le véhicule. La problématique des vibrations axiales de l'embrayage en fait part. Un certain nombre de mesures sur véhicule souligne que la cause de la vibration axiale est due à la flexion du vilebrequin excité par les explosions du cylindre le plus proche du volant moteur. Cependant, d'autres études montrent que le système d'embrayage est capable de s'auto-exciter par frottement sous certaines conditions, notamment en phase de glissement de l'embrayage. De ce fait, un ensemble de phénomènes vibro-acoustiques de la chaîne cinématique sont inhérents aux vibrations axiales du système d'embrayage. Ces phénomènes se produisent au décollage du véhicule et au cours de la phase de patinage, c'est-à-dire lorsque la vitesse d'entrée de la boîte de vitesses rejoint celle du moteur. Une liste des phénomènes les plus fréquemment rencontrés ainsi que leur gamme de fréquences habituelle est illustrée dans la figure 1. Le sigle communément employé pour définir ces nuisances est celui de NVH, en référence à la traduction anglaise de « Noise, Vibration and Harshness ».

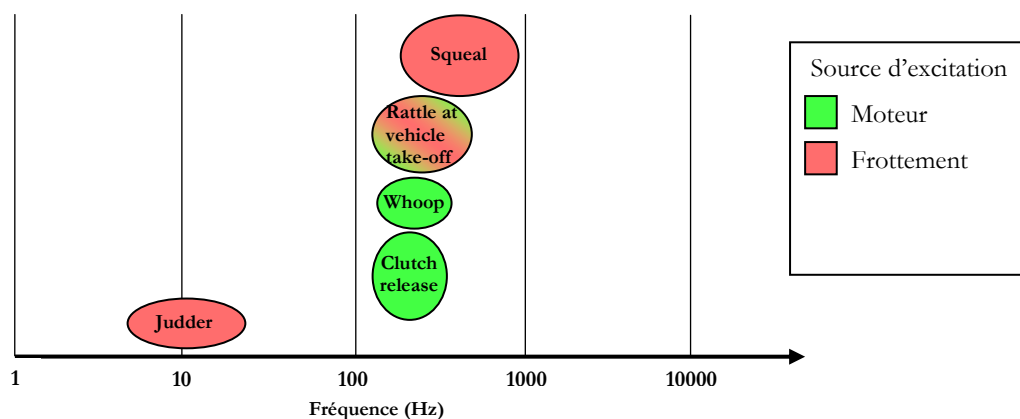


FIG. 1 – Gamme de fréquence des problématiques NVH liées aux vibrations axiales de l'embrayage.

Le *clutch judder* (broutement d'embrayage) est une forme de vibrations générée au niveau de l'embrayage, qui se propage le long de la chaîne de transmission, pour se traduire finalement par des vibrations longitudinales de la caisse, voire des nuisances sonores. Le *clutch-release* (libération) est un phénomène vibratoire entraînant la prolongation du contact des garnitures de friction sur le plateau de pression ou le volant moteur en position débrayée, d'où la transmission d'un couple résiduel à la boîte de vitesse. Le *Whoop* (bruit de pédale) est un phénomène vibro-acoustique de la pédale d'embrayage à basse fréquence qui s'accompagne par un bruit désagréable. Le *rattle at vehicle take-off* (grailonnement de boîte) est un bruit large bande de la transmission, sans tonalité particulière. Il est provoqué par les entrechocs entre les pignons menants et les pignons fous de la

boîte de vitesses au niveau des rapports non engagés. Le *clutch squeal noise* (crissement d'embrayage) est une manifestation acoustique indésirable de haute fréquence. La présence des phénomènes NVH liés aux vibrations axiales continue et conduit à des plaintes des automobilistes. Cette problématique constitue donc une réelle contrainte au développement de l'embrayage. Pour y pallier, les essais expérimentaux et la simulation numérique s'affichent comme les outils les plus adéquats. Le premier est souvent difficile à réaliser, en raison de la complexité de l'embrayage et de son confinement qui limitent l'instrumentation, ne permettant pas d'identifier précisément les composants mis en cause dans les vibrations. Il est par conséquent nécessaire de développer des modélisations numériques du comportement vibratoire de l'embrayage avec la prise en compte de l'ensemble de la chaîne de transmission. De nombreux travaux ont été menés sur certains de ces phénomènes NVH. La plupart des études existantes traitent les phénomènes du *judder*, *whoop* et *clutch release*. Elles se focalisent essentiellement sur la définition de leurs critères d'apparition, afin de diagnostiquer l'existence d'éventuelles vibrations. Les modèles proposés sont généralement linéaires, développés sous forme d'un système masse-ressort. En ce qui concerne les deux derniers bruits, très peu d'investigations ont été effectuées. Ceci s'explique par la grande difficulté à modéliser ce genre de phénomène NVH comparé aux précédents, en raison des effets non-linéaires présents dans l'embrayage liés aux propriétés du matériau de frottement, au contact frottant, aux raideurs non-linéaires, etc. En outre, le *clutch squeal* ainsi que le *rattle at vehicle take-off* se décrivent comme étant de nouvelles problématiques vibro-acoustiques.

Dans cette optique, ce travail consiste à contribuer à la compréhension et à la maîtrise d'un phénomène NVH de type gaillonnement de boîte de vitesses, dû aux vibrations axiales de l'embrayage et entraînant une excitation en torsion de la chaîne de transmission, par le développement d'un modèle éléments finis tridimensionnel de l'embrayage couplé à un modèle unidirectionnel de la chaîne de transmission. Le modèle de l'embrayage comporte la géométrie réelle des pièces, tandis que celui de la chaîne de transmission est réalisé sous forme d'un système inertie-ressort. Le modèle est suffisamment ouvert pour y introduire des effets dynamiques d'instabilité et de non-linéarité dans l'embrayage. L'intérêt d'une telle étude réside dans les informations fournies sur le comportement dynamique de l'ensemble de la chaîne cinématique du véhicule et notamment l'embrayage en présence d'un tel phénomène. Elle permet ensuite d'identifier les actions à mettre en place pour réduire les instabilités et conduire ainsi à une baisse des nuisances. Dans le but de déterminer la réponse dynamique de l'ensemble de la structure, une analyse harmonique par la méthode de superposition modale est effectuée sur l'ensemble de la chaîne cinématique. Pour ce faire, une analyse modale précontrainte au préalable est nécessaire. Cette méthode se présente d'être plus rapide et plus efficace qu'une méthode directe. Une excitation axiale au niveau du volant moteur est imposée. La réponse dynamique torsionnelle à l'entrée de la boîte de vitesses est ensuite visualisée et analysée pour identifier l'existence du phénomène. Ceci va permettre de modéliser le comportement dynamique de l'ensemble des pièces composant le système d'embrayage ainsi que les interactions existantes entre les pièces de l'embrayage et celles de la chaîne cinématique. L'étude n'est pas toujours aussi évidente pour ce type de phénomène. En effet, la simulation de la dynamique des systèmes discrets en présence d'impacts et de contacts avec frottement pose de nombreux défis, tant en termes de modélisation que de temps de calcul. Pour y remédier, deux voies de recherches peuvent être envisagées. La première serait d'employer une méthode de réduction modale pour projeter le problème dans un sous-espace adapté. La seconde consiste à diminuer la taille du modèle, en simplifiant la géométrie des pièces utilisées dans la modélisation. L'étude peut finalement être étendue à d'autres phénomènes NVH influencés par les vibrations axiales de l'embrayage.

Mots clefs : embrayage, vibration, bruit, automobile, axial, torsion, modèle, éléments finis, frottement, instabilités, non-linéarités.